

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Vincent BERGER, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: QUANTUM WELL DETECTOR WITH LAYER FOR THE STORAGE OF PHOTO-EXCITED ELECTRONS

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
France	98 07914	June 23, 1998

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

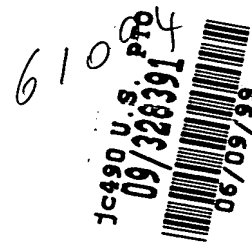
- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Marvin J. Spivak
Registration No. 24,913

THIS PAGE BLANK (USPTO)



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **12 MAI 1999**

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cédex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04
Télécopie : 01 42 93 59 30

THIS PAGE BLANK (USPTO)

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

23 JUIN 1998

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT

75 98 07914 -

DATE DE DÉPÔT

23 JUIN 1998

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande de brevet européen



demande initiale

☒ brevet d'invention

☐ certificat d'utilité n°

date

Établissement du rapport de recherche

☐ différé

☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☒ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

DETECTEUR A Puits QUANTIQUE AVEC COUCHE DE STOCKAGE DES ELECTRONS PHOTOEXCITES

3 DEMANDEUR (S)

n° SIREN 5.5.2.0.5.9.0.24 code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

Société dite : THOMSON-CSF

Forme juridique

Nationalité (s) Française

Adresse (s) complète (s)

**173 Boulevard Haussmann
75008 PARIS**

Pays

FRANCE

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre ☐

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt ; joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire - n° d'inscription)

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

Sophie ESSELIN

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DIVISION ADMINISTRATIVE DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg

75800 Paris Cédex 08

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

98 07 913

TITRE DE L'INVENTION :

**DETECTEUR A PUIITS QUANTIQUE AVEC COUCHE DE STOCKAGE DES ELECTRONS
PHOTOEXCITES**

LE(S) SOUSSIGNÉ(S) **THOMSON-CSF**

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

Monsieur BERGER Vincent
Monsieur BOIS Philippe

Tous deux domiciliés à :

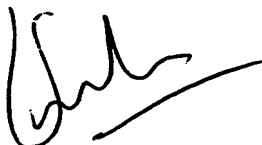
THOMSON-CSF
TPI/PC
13 Avenue du Président Salvador Allende
94117 ARCUEIL CEDEX

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

23 JUIN 1998

Sophie ESSELIN



DETECTEUR A Puits QUANTIQUE AVEC COUCHE DE STOCKAGE DES ELECTRONS PHOTOEXCITES

Le domaine de l'invention est celui des détecteurs d'onde électromagnétique réalisés avec des matériaux semiconducteurs III-V de manière à définir des structures à puits quantiques.

Le fonctionnement de tels détecteurs est basé sur l'occurrence de transitions électroniques entre niveaux permis d'énergie (e_1 et e_2) au sein de la bande de conduction de structures quantiques semiconductrices. La figure 1a donne un exemple de ce type de transition dans un puits présentant deux niveaux discrets d'énergie permise pour les électrons. L'application d'un champ électrique à ce type de configuration permet d'extraire du puits de manière préférentielle les électrons situés sur le deuxième niveau quantique. Ainsi, la collection dans le circuit électrique extérieur de ces électrons provenant du deuxième niveau quantique sur lequel ils ont été portés par un éclairage $h\nu$, permet la détection de ce dernier.

Pour obtenir une absorption importante de l'éclairage à détecter, on peut utiliser un grand nombre de puits au sein des détecteurs basés sur ce principe quantique. La figure 1b illustre une telle configuration à puits multiples.

Le problème rencontré avec les structures de l'art antérieur, décrites ci-dessus, réside dans le taux important de recombinaison de porteurs, notamment du à une couche barrière entre puits successifs, de faible épaisseur, voisine de celle des puits quantiques.

Des variantes photovoltaïques de ces détecteurs ont été proposées dans la littérature [Borge VINTER « Detectivity of a three level quantum well detector », IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 30, p. 115 (1994)].

Le problème rencontré avec des structures de l'art antérieur, décrites ci-dessus, réside dans le taux important de recombinaison de porteurs.

Cette recombinaison limite les performances de ces détecteurs et en particulier leur température de fonctionnement.

Dans le cas photovoltaïque, cette limitation est due à une couche barrière de trop faible épaisseur, entre les deux puits voisins constituant la structure photovoltaïque.

Pour limiter notablement le taux de recombinaison des porteurs, l'invention propose d'introduire dans le détecteur, une couche de stockage
5 différente de la couche absorbante (puits quantique) et ce à l'aide d'une barrière de transfert de largeur importante par rapport à celle du puits quantique. En séparant ainsi la fonction d'absorption (dans le puits quantique) et la fonction de lecture des photoporteurs (dans une couche de
10 stockage), on améliore les performances des détecteurs en évitant les recombinaisons de porteurs.

Pour permettre l'écoulement des électrons photoexcités dans la couche de stockage, la barrière de transfert présente un profil de potentiel de conduction, décroissant à partir du puits quantique.

Plus précisément, l'invention a pour objet un détecteur d'ondes
15 électromagnétiques comprenant un empilement de couches en matériaux semiconducteurs III-V, le profil de bande de conduction desdits matériaux définissant au moins un puits quantique, ledit puits quantique présentant au moins un premier niveau discret d'énergie peuplé d'électrons capables de
20 passer à un second niveau d'énergie sous l'absorption d'une onde électromagnétique et des moyens de lecture desdits électrons dans le second niveau d'énergie caractérisé en ce que l'empilement de couches en matériaux semiconducteurs comprend en outre, une couche de stockage d'électrons séparée du puits quantique, par une couche barrière de
25 transfert, l'épaisseur de la couche barrière de transfert étant environ d'un ordre de grandeur supérieur à l'épaisseur du puits quantique, le niveau énergétique inférieur de la bande de conduction de la couche barrière de transfert étant supérieur à ceux du puits quantique et de la couche de stockage d'électrons et décroissante depuis le puits quantique jusqu'à la
30 couche de stockage d'électrons de manière à favoriser l'écoulement des électrons depuis le second état d'énergie jusque dans la couche de stockage d'électrons.

Ainsi le détecteur de l'invention comprend :

- un puits quantique présentant une absorption intersousbande
35 à l'énergie désirée, cette couche étant tout à fait similaire aux puits

quantiques utilisés habituellement dans les détecteurs à puits quantiques [B. Levine « Quantum Well Infrared Photodetectors », Journal of Applied Physics, volume 74, n° 8, R1. (1993)] ;

- 5 - une barrière de transfert qui se comporte comme une perte de potentiel dans laquelle les électrons photoexcités peuvent être transférés ;
- une couche de stockage des électrons photoexcités ;
- des moyens de lecture du photosignal.

10 Selon une première variante de l'invention, la barrière de transfert peut être composée d'un alliage semiconducteur dont la composition varie le long de l'épaisseur de ladite barrière de manière à ce que le potentiel de conduction décroisse quand on s'éloigne du puits.

15 Selon une seconde variante de l'invention, la barrière de transfert peut être élaborée avec un matériau piézoélectrique qui génère un champ électrique naturel, permettant de conférer au potentiel de conduction de la barrière de transfert, le profil requis.

20 Selon une troisième variante de l'invention, la structure semiconductrice peut également être mise directement sous champ électrique pour obtenir le profil de potentiel de conduction désiré, pour la barrière de transfert.

 Par ailleurs, la lecture du signal de photodétection peut être effectuée de différente manière.

25 Il peut s'agir notamment d'une mesure de photocourant parallèle, utilisant des contacts ohmiques contactant la couche de stockage sans contacter le puits quantique absorbant.

 Il peut également s'agir d'une lecture photovoltaïque de la tension due à l'espacement entre les électrons dans la couche de stockage et la couche du puits absorbant.

30 L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1a schématise un dispositif de détection d'ondes électromagnétiques comprenant un puits quantique, selon l'art connu ;

- la figure 1b schématise une structure multipuits quantiques utilisée dans des dispositifs de détection selon l'art connu ;
- la figure 2 illustre un empilement de couches semiconductrices utilisé dans un détecteur selon l'invention ;
- 5 - la figure 3 illustre le profil des bandes de conduction de l'empilement de couches précité ;
- la figure 4 illustre un premier exemple de moyens de lecture des électrons photoexcités dans une mesure de photocourant parallèle dans un détecteur selon l'invention ;
- 10 - la figure 5 illustre un second exemple de moyens de lecture des électrons photoexcités dans une mesure de photocourant parallèle dans un détecteur selon l'invention ;
- la figure 6 illustre le profil modifié des bandes de conduction de l'empilement de couches illustré en figure 3, tenant compte des effets de charge d'espace ; la modification de ce profil
- 15 provenant du transfert d'une population d'électrons du puits quantique vers la couche de stockage ;
- la figure 7 illustre un exemple de moyens de lecture des électrons photoexcités dans une mesure photovoltaïque dans un détecteur selon l'invention ;
- 20 - la figure 8 illustre un détecteur selon l'invention comprenant des moyens de lecture dans une mesure de photocourant parallèle et des moyens de remise à zéro du détecteur ;
- la figure 9 illustre un deuxième exemple de profil de bande de conduction utilisé dans un empilement de couches d'un
- 25 détecteur selon l'invention ;
- la figure 10 illustre un troisième exemple de profil de bande de conduction utilisé dans un empilement de couches d'un détecteur selon l'invention ;
- 30 - la figure 11 illustre un quatrième exemple de profil de bande de conduction utilisé dans un empilement de couches d'un détecteur selon l'invention.

De manière générale, le détecteur selon l'invention comprend un empilement de couches semiconductrices comportant notamment comme

35 l'illustre la figure 2 :

- un substrat 1 ;
- une première couche d'arrêt 2 pour confiner les électrons dans le puits quantique ;
- une couche constitutive du puits quantique 3 ;
- 5 - une couche de barrière de transfert à profil de bande de conduction inclinée, 4 ;
- une couche de stockage d'électrons photoexcités 5 ;
- une deuxième couche d'arrêt 6.

La figure 3 illustre le profil de bandes de conduction de l'empilement de couche précité ;

Typiquement, il existe un ordre de grandeur entre la largeur du puits quantique l_q et la largeur de la barrière de transfert l_b , pour éviter les recombinaisons possibles des électrons photoexcités.

En effet, la barrière de transfert étant très épaisse, les électrons étant capturés dans la couche de stockage y restent très longtemps (de quelques μs à quelques ms). Le retour à l'équilibre des porteurs dans le puits quantique par effet tunnel est en effet très long à travers la barrière de transfert de grande épaisseur (on peut choisir une épaisseur de plusieurs centaines de nanomètres si on le désire). Le gain de photoconductivité est donc très élevé si l'on compare ce temps à la durée de vie des électrons photoexcités dans les détecteurs à puits quantiques classiques (de l'ordre de la ps).

Pour effectuer la lecture du signal de photodétection, il est possible d'utiliser deux méthodes que nous allons décrire ci-après.

25

1ère méthode : mesure du photocourant parallèle

Cette mesure est effectuée dans le plan de la couche de stockage d'électrons. Pour cela, des premier et second contacts ohmiques contactent la couche de stockage sans contacter le puits quantique absorbant comme l'illustre la figure 4, qui reprend l'empilement de couches de matériaux semiconducteurs illustré en figure 2, et qui fait figurer les contacts ohmiques C_1 et C_2 . Les flèches illustrent le cheminement des électrons et leur écoulement depuis le puits quantique 3 jusque dans la couche de stockage 5 dans laquelle ils sont collectés grâce aux contacts C_1 et C_2 . Ceci suppose

que l'épaisseur de la barrière de transfert est suffisamment grande pour que la diffusion du contact ohmique contacte la couche de stockage sans atteindre le puits quantique absorbant. Ce photocourant est proportionnel au nombre d'électrons capturés, et le temps pour le lire est très long si l'on

5 compare avec les détecteurs à puits quantiques classiques. La couche de stockage étant non dopée, le courant est très faible sans éclairage de la structure puisque cette couche contient très peu de porteurs à l'équilibre thermodynamique. L'éclairage de la structure envoie des électrons sur le niveau excité E_2 du puits quantique absorbant, une partie de ceux-ci

10 transitent vers la couche de stockage via la barrière de transfert. La conductivité de la couche de stockage s'accroît alors énormément. On a donc conceptuellement un transistor contrôlé optiquement : La couche de stockage est le canal, le rôle de la grille est joué par le faisceau optique à détecter, et la source et le drain sont les deux électrodes entre lesquelles

15 est lu le photocourant. Il faut ici insister sur l'importance capitale que les contacts ohmiques n'atteignent pas le puits absorbant. On sait par diffusion de dopants faire des contacts qui atteignent la couche de stockage sans toucher au puits absorbant pour une barrière de transfert séparant les deux couches aussi fine que 500Å.

20 Une autre géométrie de contacts consiste à réaliser une mesa par une technologie tout à fait standard, et venir ensuite contacter la couche de stockage en dessous du puits quantique. Dans ce cas, lors de la croissance, l'ordre des couches a été inversé par rapport à la solution précédente. Cette solution a l'avantage de ne pas nécessiter la maîtrise de la profondeur du

25 contact. Le schéma est représenté à la figure 5 ; la fonction de transistor contrôlé optiquement apparaît plus clairement.

Estimation du photocourant au bout de 10 ms de stockage :

30 Avec un flux typique de 10^{16} photons.cm⁻².s⁻¹, et une absorption de 5% dans le puits quantique unique (chiffre courant pour un puits quantique muni d'un réseau de diffraction en surface), on a placé sur le niveau E_2 (état excité) environ $5 \cdot 10^{14}$ électrons/cm⁻² et par seconde. Si l'on suppose une probabilité 1/2 pour un électron de partir dans la barrière de

35 transfert pour atteindre la couche de stockage (contre une probabilité 1/2 de

retomber sur le niveau fondamental du puits (il ne sert donc de rien pour la photodétection), cela mène, pendant 10ms de temps d'intégration, à $2.5 \cdot 10^{12} \text{cm}^{-2}$ électrons transférés dans la couche de stockage.

En réalité ce modèle est trop simpliste et il nous faut absolument
 5 tenir compte des effets de charge d'espace dans cette structure où les électrons sont transférés loin des atomes dopants. Les effets de charge d'espace mènent à un champ induit dans la barrière de transfert, et celle-ci cessera de transférer les porteurs quand ce champ induit compensera la
 10 pente de potentiel existant naturellement dans la barrière de transfert. A cause de ces effets de charge d'espace, la structure de bande est déformée et passe de celle représentée figure 3 à celle représentée figure 6.

Pour calculer le nombre maximum de porteurs transférables dans la couche de stockage, on écrit l'équilibre entre le champ dû aux effets de charge d'espace et le pente de potentiel dans la barrière de transfert, sans
 15 porteurs transférés. Pour une barrière comme celle de la figure 2, cela mène à une pente de potentiel égale à $180 \text{meV}/500\text{\AA} = 36 \text{kV/cm}$.

Le champ dû aux effets de charge d'espace est égal à $E = \rho_s e / \epsilon_0 \epsilon_r$, où ρ_s est la densité d'électrons transférés. En égalant les deux quantités, on déduit que ρ_s est de l'ordre de $2.5 \cdot 10^{11} \text{cm}^{-2}$.

20 Compte tenu des calculs précédents, on voit que la couche de stockage a été remplie au bout d'un temps d'intégration d'environ $500\mu\text{s}$ pour les niveaux d'éclairements donnés ci-dessus.

La couche de stockage présente alors une résistance électrique (pour une surface standard de pixel utilisé dans les détecteurs, égale à
 25 $30\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$) de $R = L/Nq\mu S = 250 \Omega$. Pour cela on a pris une mobilité de $\mu = 105 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$, ce qui est courant pour des canaux de transistor en GaAs à 77K. Cette résistance, très faible, correspond donc à un photocourant de $40\mu\text{A}$ pour une polarisation de 1mV entre la source et le drain. Ces photocourants sont largement supérieurs aux photocourants des détecteurs
 30 à puits quantiques habituels, en raison de l'augmentation du gain de photoconductivité.

2ème méthode : mesure photovoltaïque

Dans ce cas, on mesure la tension due à l'espacement entre les électrons dans la couche de stockage et la couche du puits absorbant, qui est dopé et ce grâce à deux contacts ohmiques pris respectivement au niveau de la couche de stockage (contact C'1) et au niveau du puits quantique (contact C'2) comme l'illustre la figure 7. On lit directement la tension, qui sera comprise entre 0 et 180 mV dans le cas d'une barrière dont le pourcentage d'Al varie de 30% à 8% dans un alliage $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Il faut noter que la valeur maximale de la tension ne dépend pas de la largeur de la couche de stockage. L'effet de cette largeur est surtout la modification du temps de retour à l'équilibre des électrons.

On mesurera la tension maximale de 180 mV (c'est à dire qu'on sera à saturation) pour un flux typique de 10^{16} photons. cm^{-2} pendant un temps d'intégration de 500 μs environ. Un temps d'intégration de 30ms permet d'obtenir une tension de 180mV pour un flux de photons très faible : $2 \cdot 10^{14}$ photons. cm^{-2} seulement.

Ce type de détecteur sera donc particulièrement bien adapté à la détection dans une zone spectrale où il y a peu de photons, comme la zone 3-5 μm pour l'imagerie infrarouge de corps noirs à 300 K.

La détectivité supérieure de ce type de détecteur photovoltaïque par rapport au détecteurs photovoltaïques à puits quantiques décrits précédemment dans la littérature [B. Vinter, « Detectivity of a three-level quantum well detector », IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. 30, p. 115 (1994)] provient de deux avantages spécifiques.

1) Un taux de capture efficace dans la couche de stockage: Une forte proportion des porteurs (par exemple la moitié) sont transférés dans la couche de stockage, grâce à la pente de potentiel présente dans la barrière de transfert. Cette pente de potentiel joue ici un rôle crucial, c'est elle qui permet d'avoir un bon transfert. En effet, grâce à cette pente de potentiel, les électrons ne peuvent pas remonter et revenir et se recombiner dans le puits absorbant.

2) Un temps de retour à l'équilibre long: La barrière de transfert est très épaisse (par exemple 500Å), ce qui augmente le temps de retour des porteurs depuis leur niveau métastable dans la couche de stockage

jusqu'à leur état d'équilibre dans le puits quantique . Le gain est ainsi augmenté.

Dans tous les cas, une tension perpendiculaire peut être appliquée au dispositif pour forcer les électrons à revenir dans le puits quantique absorbant si l'on désire initialiser le système entre deux mesures.

Dans le cas de la première méthode de lecture photoconductive, il faut rajouter deux couches dopées $n+$, 1' et 6' au niveau de l'empilement des couches (2 \rightarrow 6) illustré en figures 4, 5 et 7, une sur le dessus et une autre en dessous de la structure. On obtient alors un dispositif a quatre contacts C_1, C_2, C_3, C_4 comme illustré en figure 8

Dans le cas de la seconde méthode de lecture photovoltaïque, on peut rester avec le schéma de la figure 7, et on garde deux contacts seulement. On se sert des deux contacts pour la lecture de la tension et pour l'initialisation du système.

Ce principe d'initialisation peut être utilisé pendant la lecture pour régler le niveau désiré du nombre d'électrons dans la couche de stockage. Cela permet par exemple de régler l'énergie potentielle dans la couche de stockage avec un offset tel que la population d'électrons est faible sous un éclairement donné. Grâce à cet offset, le détecteur ne lie que les variations d'éclairément par rapport au niveau moyen d'éclairément, ce qui est très intéressant quand le détecteur analyse une scène infrarouge moyen à température ambiante.

Signalons qu'un certain nombre de possibilités peuvent être utilisées avec les détecteurs décrits ici, elles n'ont pas été décrites car elles ne sont pas caractéristiques de l'invention. Citons simplement les réseaux de diffraction gravés sur le dessus du détecteur pour coupler la lumière incidente à la transition intersousbande du puits absorbant et obtenir ainsi une absorption maximale (ceci est très classique dans la littérature).

Nous allons décrire plus en détail des exemples de structures d'empilement pouvant être utilisées dans des détecteurs selon l'invention.

Premier exemple d'empilement de couches semiconductrices pouvant être utilisé dans l'invention, dont le profil de bande de conduction correspond à celui illustré en figure 3.

Il s'agit d'une configuration dans laquelle la barrière de transfert est constituée d'un alliage dont la composition varie le long de l'épaisseur pour obtenir le profil désiré au niveau du potentiel de conduction de la barrière de transfert.

5 Selon cet exemple :

- le substrat 1 est en GaAs, par exemple non dopé ;
- la couche d'arrêt 2 est en $\text{Al}_{0,44}\text{Ga}_{0,56}\text{As}$, d'épaisseur 300 Å ;
- le puits quantique présentant deux niveaux discrets d'énergie E_1 et E_2 est en $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$ et typiquement une épaisseur $l_q = 30$ Å ;
- la barrière de transfert est réalisée avec l'alliage $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ d'épaisseur 500 Å, le pourcentage y variant linéairement de 0,3 à 0,08, à partir du puits quantique permettant d'obtenir une chute de potentiel variant de 250 meV à 70 meV par rapport au bas de la bande de conduction de GaAs ;
- la couche de stockage 5 est réalisée avec du GaAs et présente une épaisseur de 150 Å ;
- la couche 6 est en $\text{Al}_{0,44}\text{Ga}_{0,56}\text{As}$ identique à la première couche d'arrêt 2.

20 Ainsi lors d'une absorption de transition optique à détecter les électrons situés sur le niveau d'énergie E_1 , passent sur le niveau d'énergie E_2 pour être ensuite évacués via la barrière de transfert, dans la couche de stockage, dans laquelle ils peuvent s'accumuler.

Dans cet exemple, le puits quantique possède un second niveau discret d'énergie E_2 . Il est également possible d'utiliser une structure dans laquelle le puits quantique ne comprend qu'un unique niveau discret d'énergie. La transition optique peut alors avoir lieu entre le niveau d'énergie E_1 et le continuum de niveaux au-dessus de la barrière comme cela est connu dans l'art antérieur.

30

Deuxième exemple d'empilement de couches semiconductrices

Le détecteur peut être obtenu avec un empilement de couches de matériaux semiconducteurs comprenant un matériau semiconducteur dans lequel règne naturellement un champ électrique d'origine piézoélectrique.

35 Par exemple, un tel matériau peut être constitué d'un puits quantique en

$\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ sur substrat GaAs (111). Le champ piézoélectrique présent dans le puits quantique contraint de l'ordre de 100 kV/cm a pour conséquence l'apparition de champ électrique également dans les barrières, comme le montre la figure 9 représentant l'empilement de couches

5 suivantes, utilisé dans un deuxième exemple de détecteur

Substrat 1 : GaAs (111)

Couche d'arrêt 2 : $\text{Al}_{0,44}\text{Ga}_{0,56}\text{As}$ et épaisseur = 500 Å

Puits quantique 3 : $\text{Ga}_{0,8}\text{In}_{0,2}\text{As}$ avec $l_q = 40$ Å

Barrière de transfert 4 : $\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{As}$ épaisseur = 500 Å

10 Couche de stockage 5 : GaAs $l_s = 100$ Å

Couche d'arrêt 6 : $\text{Al}_{0,44}\text{Ga}_{0,56}\text{As}$ et épaisseur = 500 Å

Troisième exemple d'empilement de couches semiconductrices dont le profil de bande de conduction est illustré en figure 10.

15 L'empilement de couches semiconductrices de l'invention est inséré entre deux couches de contact ohmiques pour appliquer une tension V qui permet de conférer le profil requis à la barrière de transfert. Selon cet exemple, on a donc l'empilement de couches semiconductrices suivant :

substrat 1 : GaAs

20 Couche contact 1' : GaAs dopé n+ épaisseur = 3 000 Å

Couche d'arrêt 2 : $\text{Al}_{0,44}\text{Ga}_{0,56}\text{As}$ épaisseur = 500 Å

Puits quantique 3 : $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$, $l_q = 35$ Å

Couche barrière de transfert 4 : $\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{As}$, $l_b = 500$ Å

Couche de stockage 5 : GaAs épaisseur = 100 Å

25 Couche d'arrêt 6 : $\text{Al}_{0,44}\text{Ga}_{0,56}\text{As}$ épaisseur = 500 Å

Couche de contact 6' : GaAs dopé n+ épaisseur = 1 000 Å

Quatrième exemple d'empilement de couches semiconductrices dont le profil de bande de conduction est illustré en figure 11.

30 Cet exemple d'empilement de matériaux semiconducteurs comprend un matériau constitutif de la barrière de transfert composé d'un alliage dont la composition varie et dans lequel le transport des électrons peut s'effectuer via les vallées X comme illustré en figure 11. Ce type de comportement est obtenu notamment avec un alliage de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, pour

35 lequel le pourcentage x croît de 0,44 à 1. Dans ce cas, le niveau des vallées

X dans le matériau chute d'environ 320 meV dans le matériau $\text{Al}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{As}$ à environ 200 meV dans le matériau AlAs , par rapport au bas de la bande de conduction. Dans cet exemple, le substrat, les couches d'arrêt de puits quantique et la couche de stockage peuvent être identiques à ceux de l'exemple 1.

REVENDICATIONS

1. Détecteur d'ondes électromagnétiques comprenant un empilement de couches en matériaux semiconducteurs III-V, le profil de bande de conduction desdits matériaux définissant au moins un puits quantique présentant au moins un premier niveau discret d'énergie (E_1)
5 peuplé d'électrons capables de passer à un second niveau d'énergie (E_2) sous l'absorption d'une onde électromagnétique et des moyens de lecture desdits électrons dans le second niveau d'énergie caractérisé en ce que l'empilement de couches en matériaux semiconducteurs comprend en outre, une couche de stockage d'électrons séparée du puits quantique, par une
10 couche barrière de transfert, l'épaisseur de la couche barrière de transfert étant environ d'un ordre de grandeur supérieur à l'épaisseur du puits quantique, le niveau énergétique inférieur de la bande de conduction de la couche barrière de transfert étant supérieur à ceux du puits quantique et de la couche de stockage d'électrons et décroissante depuis le puits quantique
15 jusqu'à la couche de stockage d'électrons de manière à favoriser l'écoulement des électrons depuis le second état d'énergie jusque dans la couche de stockage d'électrons.

2. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'empilement de couches en matériaux
20 semiconducteurs III-V comprend en outre une première et une seconde couches d'arrêt en matériaux semiconducteurs tels que le niveau énergétique inférieur de leur bande de conduction sont respectivement supérieurs aux niveaux énergétiques inférieurs de bande de conduction du puits quantiques et de la couche de stockage d'électrons.

25 3. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le profil décroissant du niveau énergétique inférieur de la bande de conduction de la couche barrière de transfert est obtenu avec un alliage semiconducteur dont la composition varie depuis le puits quantique jusqu'à la couche de stockage d'électrons.

30 4. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le profil décroissant du niveau énergétique inférieur de la bande de conduction de la couche barrière de transfert est obtenu grâce à la présence dans l'empilement de couches en

matériaux semiconducteurs, d'un matériau semiconducteur piézoélectrique créant un champ électrique naturel.

5. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'empilement de couches en matériaux semiconducteurs comprend une première et une seconde couches en matériaux semiconducteurs dopés de part et d'autre de l'ensemble couche de stockage d'électrons/couche barrière de transfert/puits quantique de manière à pouvoir créer un champ électrique responsable du profil décroissant du niveau énergétique inférieur de la bande de conduction de la couche barrière de transfert.

6. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les moyens de lecture des électrons dans le second niveau d'énergie comprennent un premier et un second contacts ohmiques situés au niveau de la couche de stockage d'électrons de manière à effectuer une mesure de photocourant dans le plan de la couche de stockage.

7. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend l'empilement suivant de couches de matériaux semiconducteurs à partir de la surface d'un substrat semiconducteur :

- une première couche d'arrêt ;
- un puits quantique ;
- une couche barrière de transfert ;
- une couche de stockage d'électrons ;
- une deuxième couche d'arrêt ;

les premier et second contacts ohmiques s'étendant depuis la deuxième couche d'arrêt jusque dans la couche de stockage d'électrons.

8. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend l'empilement suivant de couches de matériaux semiconducteurs à partir de la surface d'un substrat semiconducteur :

- une deuxième couche d'arrêt ;
- une couche de stockage d'électrons ;
- une couche barrière de transfert ;
- une couche de stockage d'électrons ;

- une première couche d'arrêt ;
- et une mesa définie dans :
- la couche barrière de transfert ;
- le puits quantique ;
- la première couche d'arrêt ;

5

les premier et second contacts ohmiques étant situés de part et d'autre de la mesa.

9. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les moyens de lecture des électrons dans le second niveau d'énergie comprennent un premier et un second contacts ohmiques situés respectivement au niveau du puits quantique et au niveau de la couche de stockage d'électrons de manière à effectuer une lecture photovoltaïque de la tension établie entre les électrons du puits quantique et les électrons de la couche de stockage.

15

10. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend l'empilement suivant de matériaux semiconducteurs à partir d'un substrat semiconducteur :

- une première couche d'arrêt ;
- un puits quantique ;
- une couche barrière de transfert ;
- une couche de stockage d'électrons ;
- une seconde couche d'arrêt ;

20

et une gravure jusqu'au niveau de la couche barrière de transfert de manière à réaliser le premier contact ohmique s'étendant jusqu'au puits quantique et le second contact ohmique s'étendant jusqu'à la couche de stockage d'électrons.

25

11. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de remise à zéro de l'écoulement des électrons dans la couche de stockage.

30

12. Détecteur d'ondes électromagnétiques selon les revendications 6 et 11, caractérisé en ce qu'il comprend des troisième et quatrième contacts situés de part et d'autre de l'empilement de couches de matériaux semiconducteurs.

35

Bande de conduction

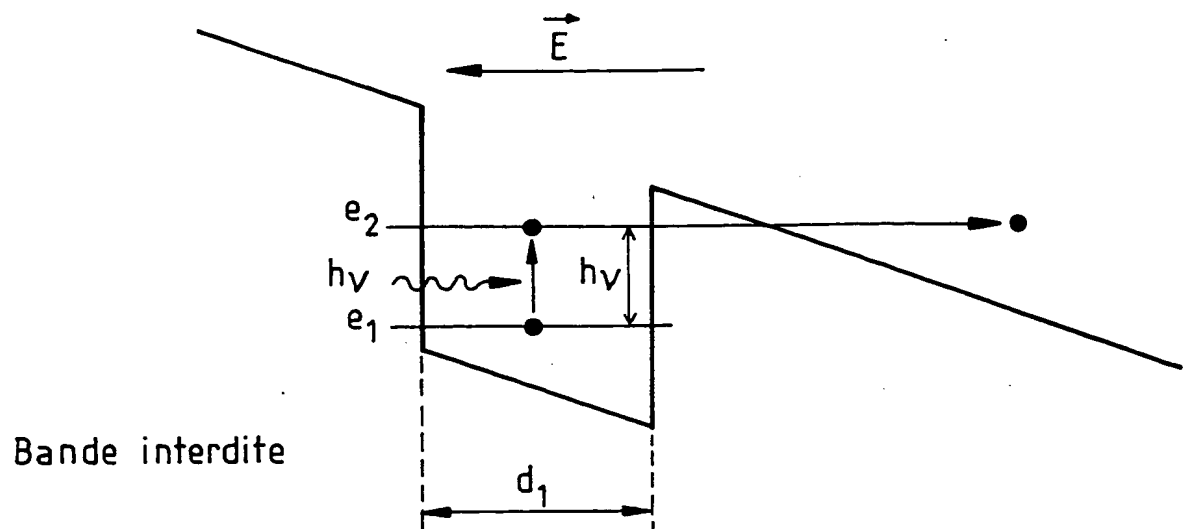


FIG.1a

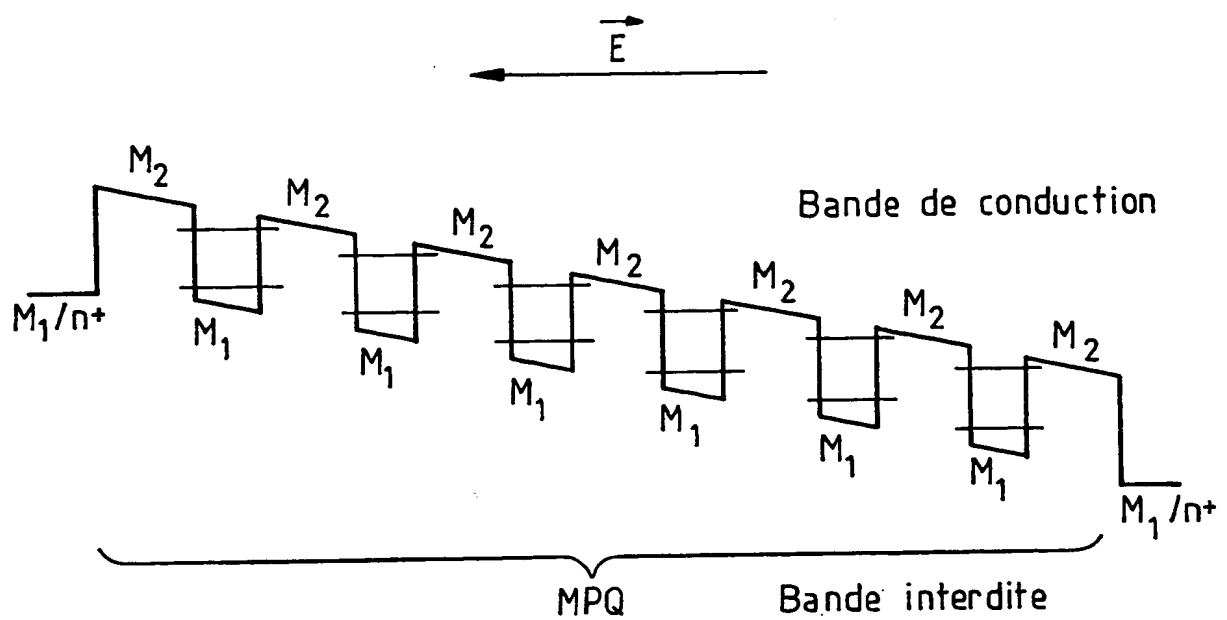


FIG.1b

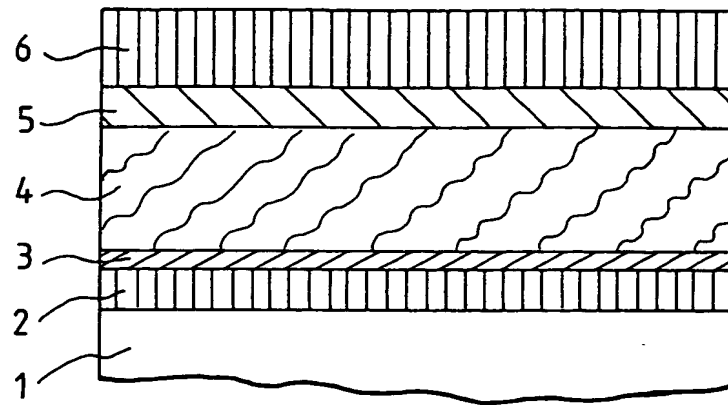


FIG.2

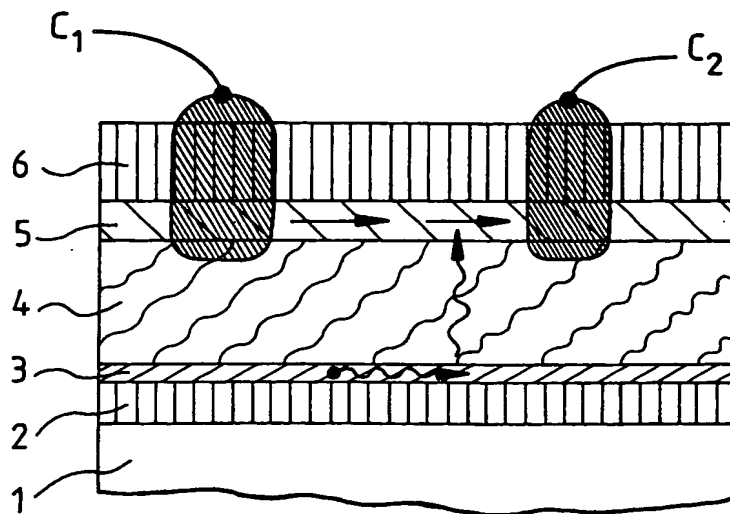


FIG.4

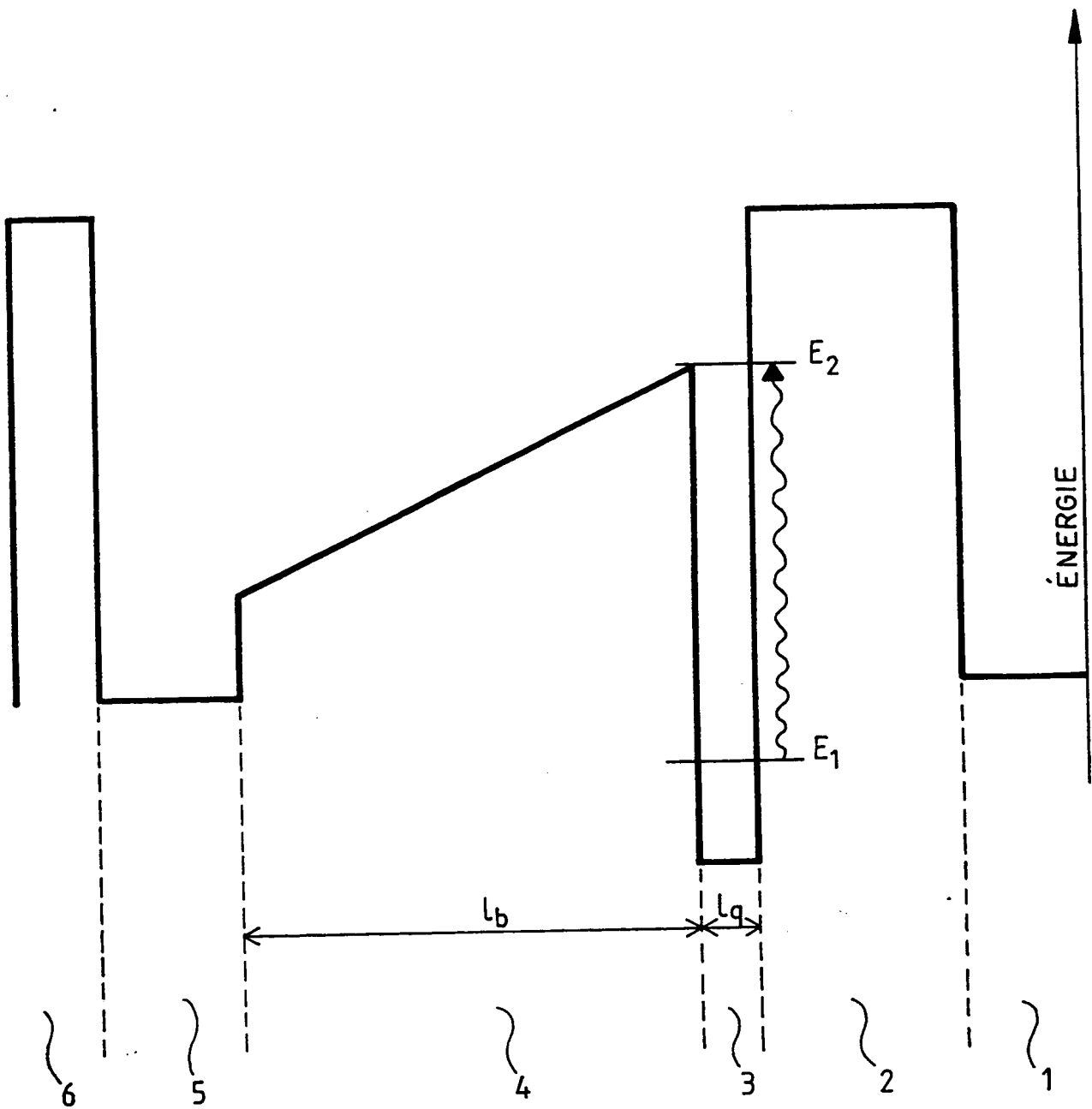


FIG.3

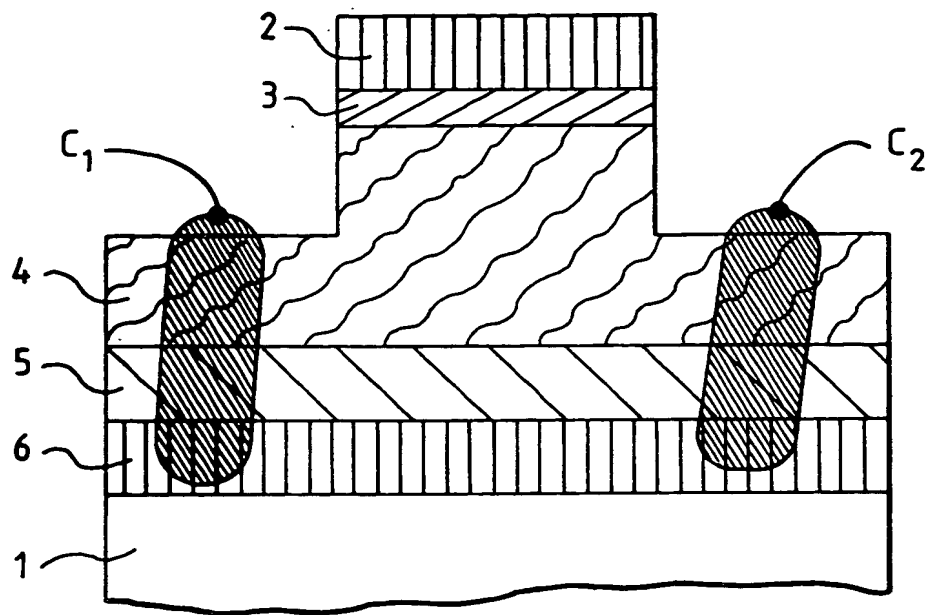


FIG.5

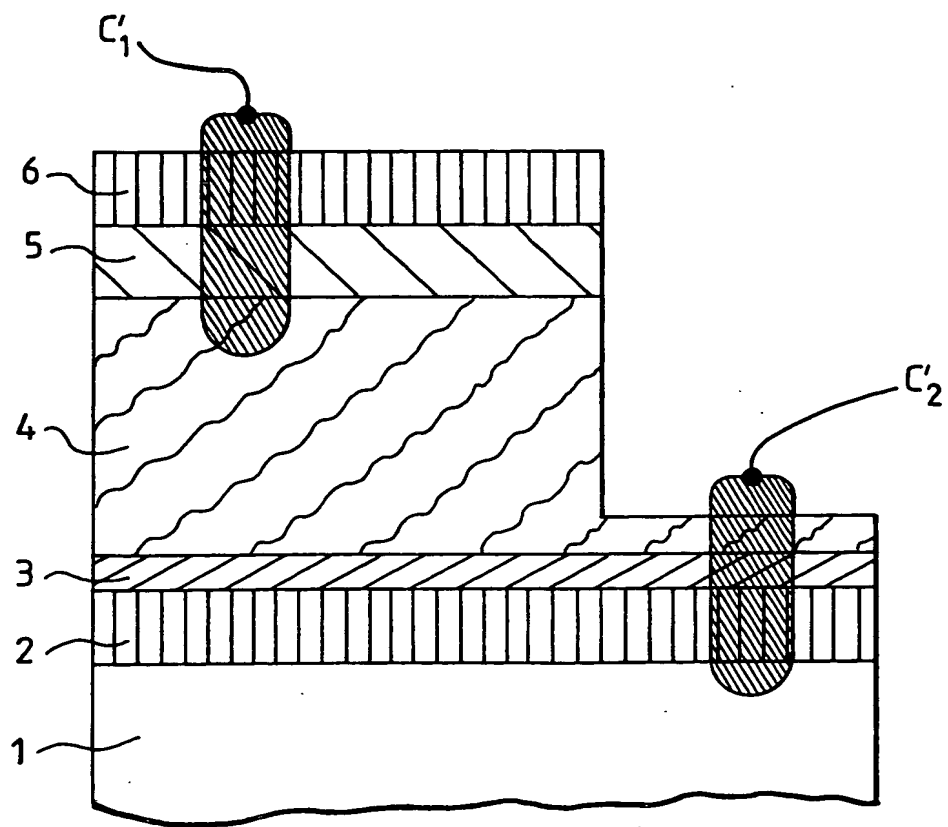
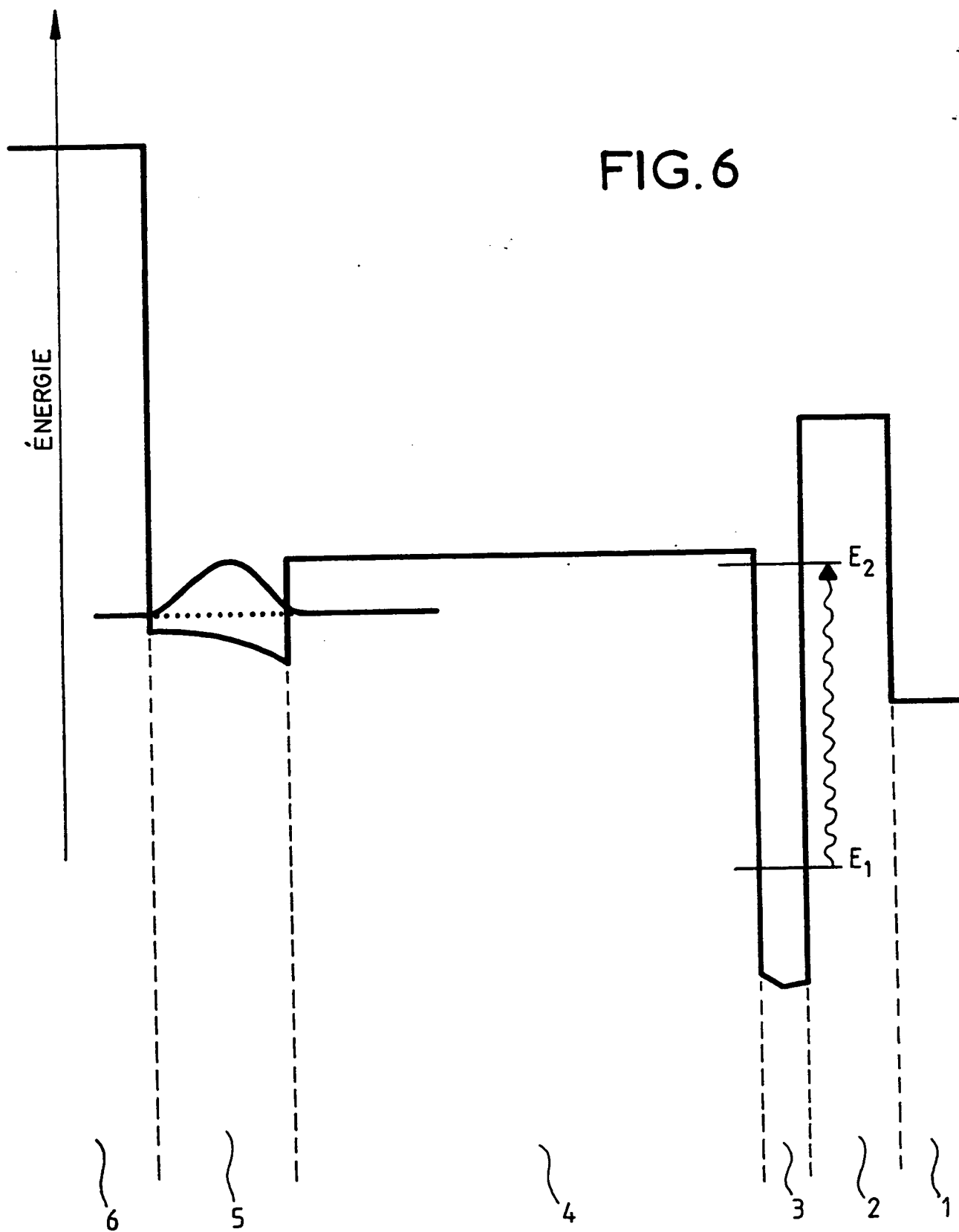


FIG.7

FIG. 6



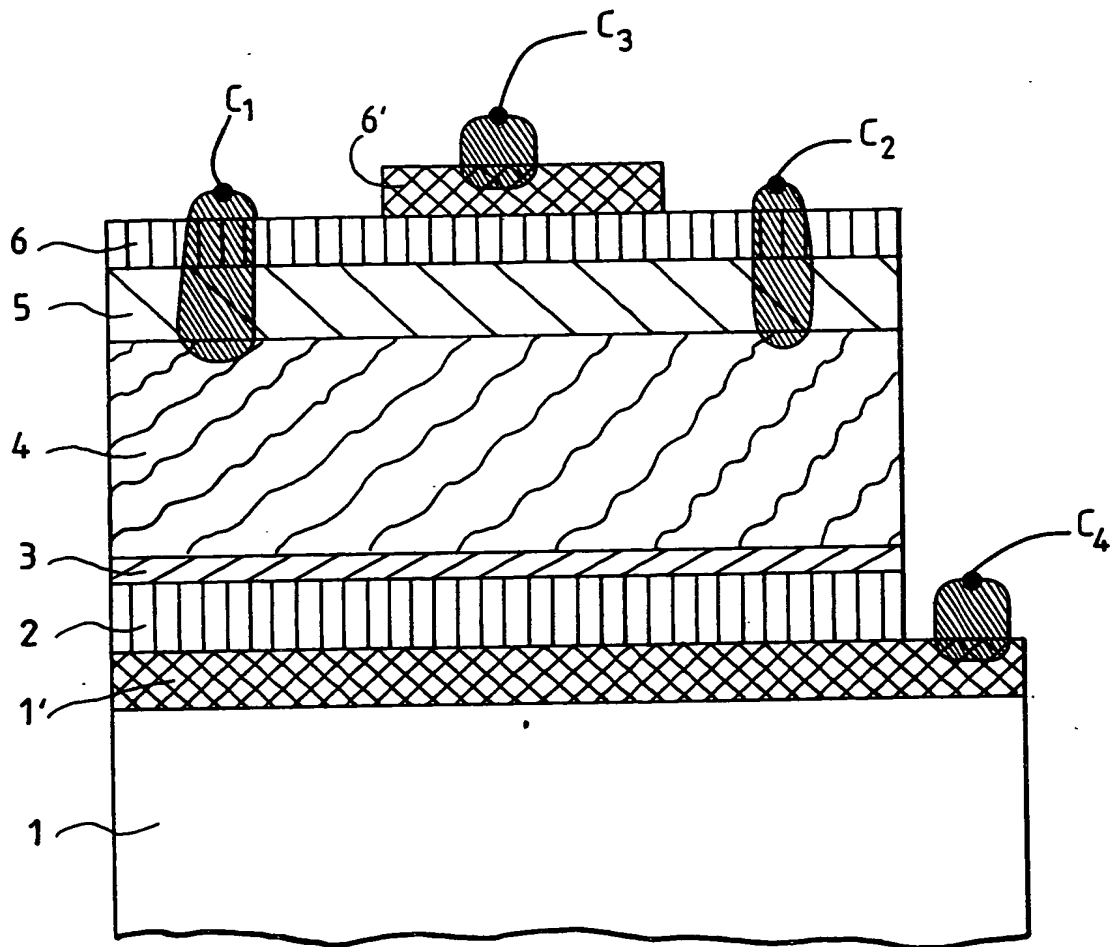


FIG.8

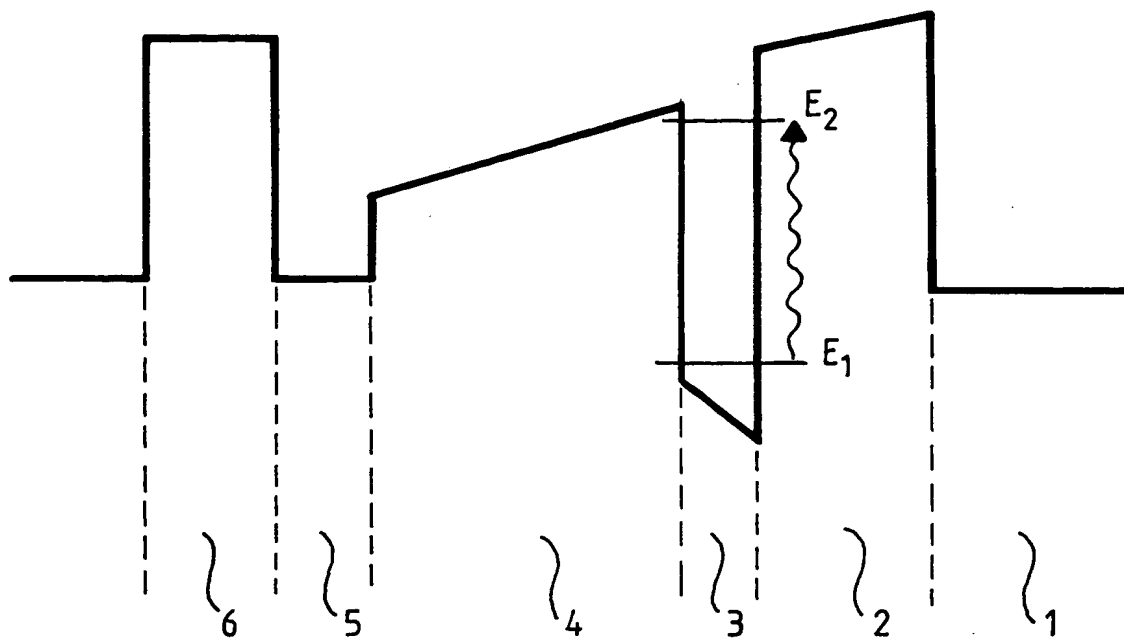


FIG. 9

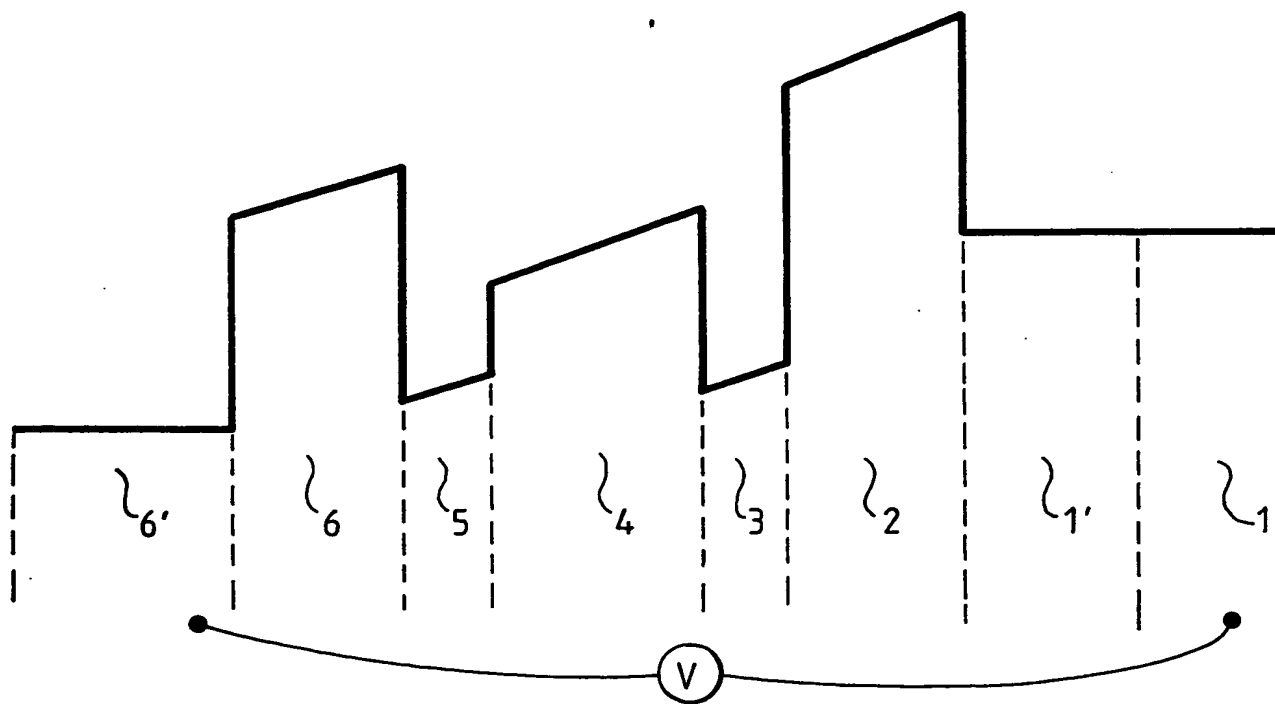


FIG. 10

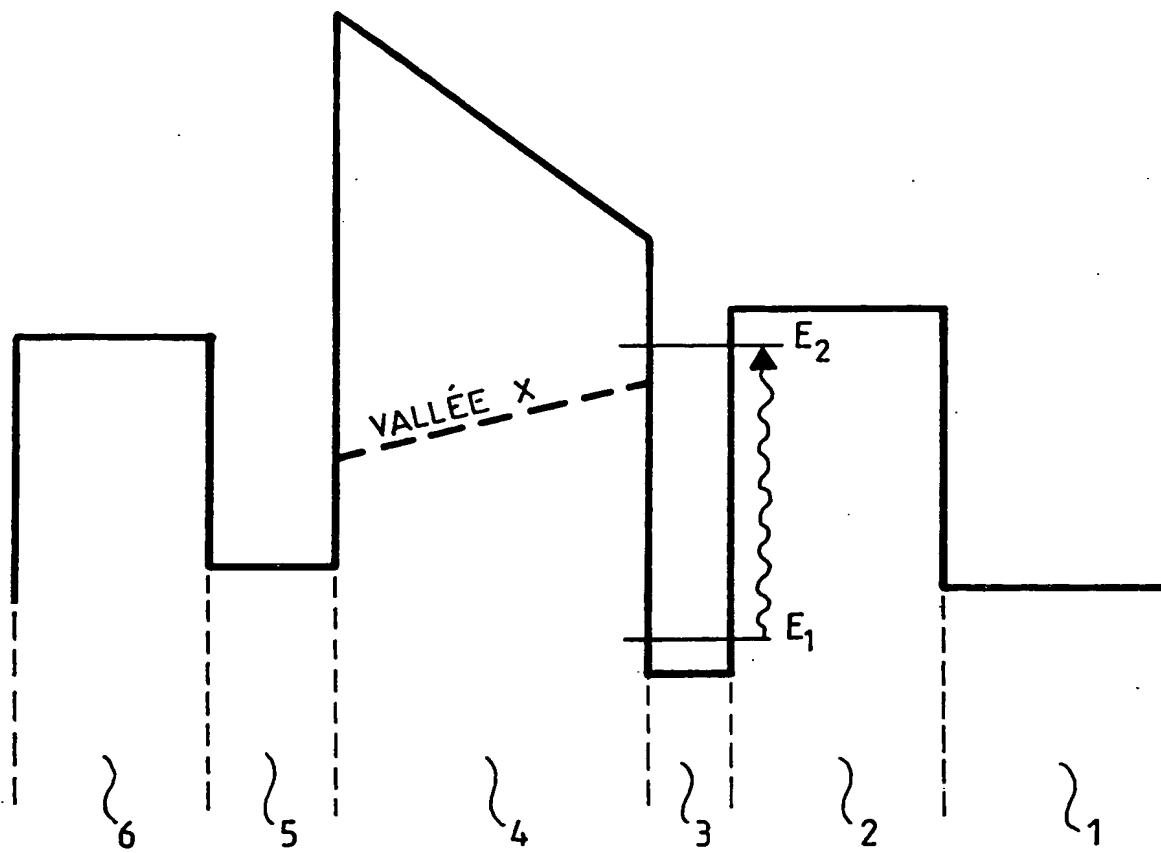


FIG.11

THIS PAGE BLANK (USPTO)

OBLON, SPIVAK, MCCLELLAND, MAIER & NEUSTADT, P.C.
ATTORNEYS AT LAW
FOURTH FLOOR
1755 JEFFERSON DAVIS HIGHWAY
ARLINGTON, VIRGINIA 22202 U.S.A.
(703) 413-3000

DOCKET NO: 0154-2811-2
INVENTOR: Vincent BERGER et al.